



Universiteit Utrecht

De kracht van getijden- energie in Nederland

Een onderzoek naar de potentie van getijdenenergie in Nederland, gefocust op de wet- en regelgeving, de kosten en de milieueffecten

Onderzoeksverslag

Joyce Swanenberg (4167112)

Bachelor thesis Milieu-natuurwetenschappen (GEO3-2138)

Universiteit Utrecht

Juni 2017

Woorden: 5960

Begeleider: dr. Atse Louwen

Samenvatting

Dit onderzoeksverslag bestudeert de potentie van getijdenenergie in Nederland, naast de aanwezige technische potentie. Hierbij worden drie aspecten geanalyseerd: de wet- en regelgeving, de kosten en de milieueffecten. Vanuit alle drie de aspecten wordt gekeken welke obstakels er overwonnen dienen te worden om getijdenenergie volledig te kunnen implementeren in Nederland. Hiervoor wordt de beschikbare Nederlandse literatuur aangevuld met voorbeelden van getijdencentrales die al wereldwijd in werking zijn. Uit deze analyse kan geconcludeerd worden dat er nog barrières overwonnen dienen te worden, waarbij de overheid en de wetenschap een belangrijke rol spelen. Samenwerking en kennisuitwisseling, nationaal en internationaal, is hierbij van belang.

Summary

This research project examined the potential of tidal energy in the Netherlands, in addition to the existing technical potential. Three aspects are analyzed: the policies, the costs and the environmental impacts. From those aspects, it is examined which obstacles must be overcome to fully implement tidal energy in the Netherlands. The Dutch literature is supplemented with examples of tidal energy power stations worldwide that are already in operation. This analysis concludes that the barriers of tidal energy must be overcome, with government and science playing a crucial role. Therefore, cooperation and knowledge exchange at national and international level is needed.

Inhoudsopgave

Samenvatting	2
Summary	3
Inleiding	5
Hoofdstuk 1: Wet- en regelgeving omtrent getijdenenergie	10
1.1 Ontwikkeling getijdenenergie	10
1.3 Beschermd natuurgebieden.....	12
1.4 Europa.....	13
Hoofdstuk 2: Kosten van getijdenenergie	14
2.1 Investeringskosten	14
2.2 Onderhouds- en bedrijfskosten.....	15
2.3 Kostprijs en bijdrage energievoorziening.....	16
Hoofdstuk 3: Milieueffecten omtrent getijdenenergie	19
3.1 Data milieueffecten	19
3.2 Monitoringprogramma's mondiaal.....	20
3.3 <i>Casestudy</i> Kornwerderzand.....	21
Discussie	23
Conclusie	25
Literatuurlijst	26
Bijlage	33
Bijlage 1: Valhoogte bereken aan de hand van de natuurlijke stroomsnelheid.....	33

Inleiding

De wereldwijde vraag naar energie was 164 PWh/jaar in 2011 en zal uitlopen tot 200 PWh/jaar in 2020 (WEC, 2013). De energiebehoeften worden voornamelijk voorzien door de verbranding van fossiele brandstoffen. Deze zware afhankelijkheid van fossiele brandstoffen heeft twee gevolgen. Ten eerste zijn fossiele brandstoffen niet oneindig, en met het huidige gebruik hiervan wordt verwacht dat deze middelen binnen de komende decennia op zijn (Rourke *et al.*, 2010). Ten tweede hebben fossiele brandstoffen een groot effect op het klimaat. De koolstofdioxide (CO₂) die in de atmosfeer komt door de verbranding van fossiele brandstoffen heeft als gevolg dat de concentratie CO₂ in de atmosfeer stijgt, waardoor daar meer warmte wordt vastgehouden. Dit resulteert in een versterking van het broeikas effect, wat leidt tot mondiale temperatuurstijging en klimaatverandering (Harvey, 2000).

Hernieuwbare energietechnologieën worden gezien als een gunstig alternatief voor conventionele energiebronnen en zullen dan ook een steeds grotere rol moeten gaan spelen (Vince, 2010). In 2013 vertegenwoordigden hernieuwbare energiebronnen 15% van de totale wereldwijde elektriciteitsproductie (WEC, 2013). De grootste voordelen van hernieuwbare energiebronnen ten opzichte van conventionele energiebronnen zijn het feit dat ze minder vervuilend zijn en het feit dat ze onuitputtelijk zijn (Carley, 2009). Een belangrijk nadeel is echter dat de ontwikkeling van hernieuwbare energietechnologieën grotendeels wordt beïnvloed door het energiebeleid (van Alphen *et al.*, 2008). Zonne- en windenergie technologieën hebben onlangs de grootste aandacht gekregen en hebben zich daardoor aanzienlijk ontwikkeld. Andere hernieuwbare energietechnologieën zoals getijdenenergie hebben deze aandacht minder gekregen wat betekent dat de kosten hoger zijn en er minder geïnstalleerd vermogen aanwezig is (CBS, 2015). Een ander belangrijk nadeel van veel hernieuwbare energiebronnen is dat ze een variatie hebben in de energie intensiteit (Rourke *et al.*, 2009). Bij getijdenenergie is deze variatie voorspelbaar aangezien de getijden te voorspellen zijn. Bij wind- en zonne-energie is de variatie ook enigszins te voorspellen, echter is dit minder nauwkeurig vergeleken met getijdenenergie.

Dit onderzoek richt zich op getijdenenergie in Nederland. Getijdenenergie wordt gewonnen door het verschil in waterhoogte tussen eb en vloed, wat gecreëerd wordt door het patroon van de baan van de maan rond de aarde. Een getijdengenerator kan de energie van deze stromingen omzetten in elektriciteit (Benelghali *et al.*, 2007). In Nederland zijn er tot op heden twee manieren om getijdenenergie op te wekken. Ten eerste in een dam waarin turbines

zijn geplaatst. Hierbij wordt het water op een bepaald moment in het getij vastgehouden en vervolgens door een dam via een turbine losgelaten. Hierbij speelt valhoogte een rol. Ten tweede kan getijdenenergie worden opgewekt doormiddel van vrijestroomturbines die de bewegingsenergie in getijdenstromen benutten. Hierbij is er geen valhoogte nodig. Vrijestroomturbines kunnen net onder het wateroppervlak, of juist diep onder het water worden geplaatst. Hierbij corresponderen de natuurlijke stroomsnelheden in Nederland (1-2 m/s) met een equivalente valhoogte van 5-20 cm (ECN, 2009; Bijlage 1).

Getijdenenergie is een erg betrouwbare energiebron aangezien de getijden periodiek zijn en daardoor uiterst voorspelbaar (Cave & Evans, 1984). Daarnaast kan de getijdenenergietechnologie profiteren van de vooruitgang in de technologieën van en de onderzoeken naar windenergie, met als gevolg dat de ontwikkeling van getijdenenergie zich kan versnellen. De reden waarom de getijdenenergie technologie pas onlangs van de grond begint te komen heeft waarschijnlijk te maken met het feit dat er serieuze financiële steun optrekt. Naast het feit dat er niet alleen een toenemende erkenning is dat er dringend transitie nodig is van fossiele brandstoffen naar hernieuwbare energie, kunnen ook technologische uitdagingen steeds vaker opgelost worden. Kortom, energie uit water is nodig om de transitie naar hernieuwbare energie te versnellen (Fraenkel, 2006). Deze technologieën zouden in de komende jaren dan ook een belangrijke groei moeten doormaken zodat de talrijke oplossingen die momenteel worden bevorderd, ook uitgevoerd zullen worden.

Getijdenenergie in Nederland is op dit moment in de ontwikkelingsfase. Veel locaties zijn nog op experimentele schaal waardoor de daadwerkelijke elektriciteitsproductie in Nederland nog niet online geregistreerd is door CertiQ (CBS, 2015). Uit het project 'Energiedijken' is gebleken dat er op minimaal 8 verschillende plekken in Nederland de mogelijkheid bestaat voor de winning van energie uit getijden (Schreijgrond, 2015). Deze gebieden bevinden zich bij dammen, rivieren en rond de Waddeneilanden (Figuur 1).



Figuur 1: Getijdengebieden met technische haalbaarheid in Nederland (TKI, 2015)

Het technisch haalbare energiepotentieel van getijdenenergie in Nederland werd in 2015 geschat tussen 20 MW (lage schatting) en 128 MW (optimistische schatting). In 2015 was de geïnstalleerde capaciteit van getijdenenergie in Nederland 530 kW (Tabel 1). Getijdenenergie heeft ook potentie op zee (MvI&M & MvEZ, 2014), er zijn echter geen cijfers bekend in hoeverre dit in Nederland toegepast kan worden.

Tabel 1: Potentie getijdenenergie Nederland (TKI, 2015)

	Potential kW (low estimate)	Potential kW (high estimate)	Installed capacity kW	Technology	Status
Westerschelde	500	5000	30	tidal stream	Permit for 5 years
Water Dunen	1000	2000		stream/low-head	in ontwikkeling
Oosterschelde Stormvloedkering	3000	60000		tidal stream	2 permits (15 years)
Brouwersdam opening	5000	40000		stream/low-head	Tender preparation
Grevelingendam tidal test centre	1000	3000		stream/low-head	Permitting started
Stevinsluizen	2250	4500			
Kornwerderzand	1500	3000	400	tidal stream	partly permitted
Marsdiep offshore locatie	200	500	100	tidal stream	Permit for 5 years
Wadden	5000	10000		tidal stream	
Totals (MW)	20	128			

Uit deze gegevens kan geconcludeerd worden dat de technische potentie van getijdenenergie in Nederland aanwezig is. Het wordt echter nog niet veel toegepast. Het doel van dit onderzoek is dan ook om in kaart te brengen of getijdenenergie in Nederland, naast de technische potentie, ook op andere aspecten potentie heeft. Hierbij wordt er gekeken naar de

drie belangrijkste aspecten die een invloed hebben op de potentie van getijdenenergie in Nederland: de wet- en regelgeving, de kosten en de milieueffecten. Deze drie aspecten zijn van belang aangezien geringe kennis van deze drie aspecten ervoor zorgt dat de technologieontwikkeling vertraagt. Het is daarom van belang om meer inzicht en kennis te creëren over de bovengenoemde aspecten, om zo de implementatie van getijdenenergie in Nederland te versnellen.

De hoofdvraag van dit onderzoek luidt: **In hoeverre is getijdenenergie haalbaar in Nederland, naast de aanwezige technische potentie?**

De deelvragen die hierbij horen zijn:

- Hoe is de wet- en regelgeving omtrent getijdenenergie in Nederland?
- Wat zijn de kosten van getijdenenergie in Nederland?
- Wat zijn de effecten van getijdenenergie op het milieu in Nederland?
- In hoeverre kan het potentieel van getijdenenergie bijdragen aan de Nederlandse energievoorziening?

Dit onderzoek is maatschappelijk relevant aangezien de publieke zorgen over klimaatverandering steeds groter worden wat betekent dat een steeds groter deel van de bevolking inziet dat men niet eeuwig fossiele brandstoffen kan blijven gebruiken. Men ziet in dat fossiele brandstoffen uitputten en dat de technologieën van hernieuwbare bronnen zoals getijdenenergie in ontwikkeling moeten blijven. Daarnaast kunnen zonne- en windenergie niet genoeg opleveren om aan de vraag te voldoen, aangezien wordt gesteld dat er een verscheidenheid aan hernieuwbare energiebronnen nodig is om in 2050 een energievoorziening te hebben die volledig uit hernieuwbare energie bestaat (Dincer, 2000). Getijdenenergie kan een grote rol spelen in de transitie naar hernieuwbare energie aangezien de potentie van getijdenenergie groot is, en het mondiaal nog weinig toegepast wordt. Een ander groot voordeel is het feit dat er weinig horizonvervuiling plaatsvindt, aangezien de turbines onder water geplaatst worden.

Dit onderzoek is ook wetenschappelijk relevant. De getijdenenergietechnologie in Nederland is nog in de experimentele fase wat betekent dat de gevolgen hiervan op onder andere het milieu en de scheepsvaart nog niet volledig bekend zijn. Ook wereldwijd is er nog weinig onderzoek gedaan naar de effecten van de winning van getijdenenergie op het milieu. Daarnaast is er nog weinig informatie beschikbaar over de Nederlandse wet- en regelgeving

wat betreft getijdenenergie. Dit onderzoek combineert wetenschappelijke literatuur en overheidsverslagen, wat uiteindelijk een beoordeling zal opleveren wat betreft de mogelijkheid en de kracht van getijdenenergie in Nederland.

Hoofdstuk 1: Wet- en regelgeving omtrent getijdenenergie

Dit hoofdstuk bespreekt de wet- en regelgeving omtrent getijdenenergie. Allereerst wordt de ontwikkeling van getijdenenergie in Nederland beschreven. Vervolgens komen vergunningen en subsidies, en beschermde natuurgebieden aan de orde. Ten slotte volgen de Europese doelstellingen.

1.1 Ontwikkeling getijdenenergie

De Rijksoverheid streeft naar 14% duurzame energie in 2020 en volgens het Nationaal Energieakkoord moet in 2023 minimaal 16% van de energie duurzaam opgewekt zijn (Noordzeeloket, 2017). Uit cijfers van het CSB (2017) blijkt dat waterkracht in 2016 een elektriciteitsproductie had van 98 GWh (= 0,08% van de totale elektriciteitsproductie van Nederland). Het is niet bekend hoeveel procent getijdenenergie nationaal opbrengt, maar het grootste gedeelte van de 0,08% is waarschijnlijk de opbrengst van een aantal kleine waterkrachtcentrales in rivieren (Milieu Centraal, 2017). Dit betekent dat getijdenenergie tot op heden een kleine bijdrage levert.

Aangezien getijdenenergie in de onderzoeks- en ontwikkelingsfase zit, zijn er voornamelijk demonstratieprojecten uitgevoerd zodat er praktijkervaringen worden opgedaan. Volgens het RVO (2015) zijn de kosten te hoog en is er daarnaast nog veel ontwikkeling nodig voordat de technologie klaar is voor marktimplementatie. De overheid heeft dan ook nog geen doelstelling betreft de hoeveelheid elektriciteit die moet worden opgewekt met getijdencentrales.

Uit de Noordzee 2050 Gebiedsagenda blijkt dat er op de lange termijn kansen zijn om alternatieve vormen van duurzame energie te integreren in windmolenparken. Hierbij wordt multifunctioneel ruimtegebruik gerealiseerd en kunnen de kosten van energie verminderen. De potentie van getijdenenergie moet hiervoor nog inzichtelijk gemaakt worden. De overheid doet hiernaar onderzoek in de planperiode 2016-2021 (MvI&M & MvEZ, 2015).

1.2 Vergunningen en subsidies

De belangrijkste barrière voor getijdenenergie is volgens het RVO (2015) vergunningverlening. De schade aan de visstand speelt hierbij de grootste rol. Dit wordt daarnaast ook nog bemoeilijkt voor getijdencentrales in rivieren, aangezien de eist dan geldt

voor de hele rivier. Dit betekent dat nieuwe getijdenenergiecentrales maatregelen moeten nemen bij bestaande energiecentrales van eventueel andere eigenaren.

Primair nemen lokale gemeenten de besluiten over vergunningverlening. Hierbij speelt het decentrale karakter van de Wet van Ruimtelijke Ordening een rol (Overheid I, 2017). Omdat bij windenergie grote projecten hierdoor niet doorgingen of een lange doorlooptijd kenden, is in 2009 de Electriciteitswet 1998 (Overheid II, 2017) gewijzigd. De rijkcoördinatieregeling uit de Wet Ruimtelijke Ordening werd van toepassing verklaard voor energieprojecten van nationaal belang. Voor duurzame energiecentrales zoals getijdenenergie betekent dit dat deze centrales automatisch onder rijkcoördinatie vallen als deze een capaciteit hebben van ten minste 50 MW (Overheid II, 2017). Met deze regeling heeft de minister van Economische Zaken samen met de minister van Infrastructuur en Milieu bevoegd gezag over het vaststellen of het plan in de ruimte past, en coördineert de minister van Economische Zaken de vergunningsverlening die de gemeenten en de provincies afgeven. Ook is deze minister verantwoordelijk voor het bereiken van de energiedoelstellingen die Nederland heeft binnen het EU-beleidskader voor klimaat en duurzame energie. De minister van Infrastructuur en Milieu is systeemverantwoordelijk voor ruimtelijke ordening.

De Nederlandse toestemming betreft getijdenenergieprojecten is gefragmenteerd, oftewel het betreft meerdere actoren. Daarnaast is getijdenenergie geen aandachtspunt van de Topsector Energie waardoor subsidies van Topsector Energie gering zijn. Topsector Water heeft daarentegen wel het winnen van energie en grondstoffen op zee als aandachtspunt voor innovaties in de maritieme sector, met als gevolg dat er financiële ondersteuning mogelijk kan zijn vanuit Topsector Water (RVO, 2015). Ook er is financiering mogelijk vanuit Europese fondsen, aangezien Nederland deelnemer is in OCEANERA-NET en in het IEA-programma Ocean Energy. Deze programma's focussen zich op gezamenlijk onderzoek en kennisdeling.

Daarnaast kunnen energie innovaties die op de langere termijn kosten besparen, ondersteuning krijgen via de regeling Hernieuwbare Energieprojecten (HER). Getijdenenergie valt onder de kansrijke innovaties. Er is 50 miljoen beschikbaar gesteld voor deze projecten. Volgens minister Kamp (Economische Zaken) is “de omschakeling naar een CO₂-arme economie niet mogelijk zonder grote investeringen en vereist het volop innovatie. Dit komt overeen met onze visie in de Energieagenda waarbij de energietransitie ook moet leiden tot het benutten van economische kansen.” (Rijksoverheid, 2017).

Het opstellen van een nationaal plan met strategische doelstellingen zoals de nu al geïnstalleerde capaciteit en de potentiële energieproductie van maritieme energie geeft de

particuliere sector vertrouwen. Dit zal leiden tot investeringen die deze sector nodig heeft aangezien de kosten hoog zijn vergeleken met wind- en zonne-energie (TKI, 2015).

1.3 Beschermde natuurgebieden

In de Wet Natuurbescherming (Overheid III, 2017) staan een aantal beschermde gebieden genoemd, de Natura-2000 gebieden. Voor alle Natura-2000 gebieden is er een beheerplan opgesteld met maatregelen om deze gebieden te beschermen. Wanneer er een aanvraag is voor het plaatsen van een getijdenenergiecentrale in een Natura-2000 gebied, wordt er eerst een habitattoets uitgevoerd welke besluit of het geplaatst mag worden. Wanneer de activiteit hoofdzakelijke gevolgen heeft voor een Natura-2000 gebied of een gedeelte daarvan, is het aan de provincie om een beslissing te nemen. Als het niet duidelijk is in welke provincie het Natura-2000 gebied ligt, of als het in meerdere provincies is gelegen, beslist de staat over het gebied (Overheid III, 2017).

Volgens de Natuurbeschermingswet moeten maatregelen genomen worden om kwaliteitsvermindering zoveel mogelijk te voorkomen of te beperken. Een vergunning om een activiteit uit te voeren in een Natura-2000 gebied kan worden afgegeven wanneer het van groot openbaar belang is. Echter, het project mag de natuurlijke kenmerken van het gebied niet veranderen of verslechteren (Overheid III, 2017). Voor het verkrijgen van een vergunning waarbij het activiteit een sterk effect heeft op het Natura-2000 gebied, moet er voldaan zijn aan de ADC-criteria. Deze criteria staan ervoor dat er geen alternatieve mogelijkheid is, dat het plaatsen ervan om een dringende reden gedaan moet worden, en er dient vooraf compensatie gedaan te worden. Wanneer het plaatsen van de activiteit geen sterk negatief effect heeft op het Natura-2000 gebied, is het voldoende om een verslechterings- en verstoringstoets uit te voeren (WUR, 2017).

Aangezien de mogelijke effecten van getijdenenergie nog niet goed zijn bestudeerd, wordt er in eerste instantie een proefinstallatie uitgevoerd wanneer het project in een Natura-2000 gebied gepland is (Smit & Dankers, 2010). Een voorbeeld van een getijdencentrale in een Natura-2000 gebied is in de Oosterscheldekering. De firma's Tocardo en Ecofys stelden in 2010 voor om in twee van de 62 openingen in de Oosterscheldekering een proefinstallatie te installeren, om zo de effecten te analyseren. IMARES heeft een Passende Beoordeling gedaan naar de gevolgen voor zowel de Oosterschelde als de Voordelta, aangezien de Oosterscheldekering beide Natura-2000 gebieden kan beïnvloeden. Hierbij is er gekeken naar zowel de effecten voor soorten en voor habitats, maar ook naar wezenlijke systemprocessen

die mogelijk beïnvloed kunnen worden. Uit dit onderzoek kwam naar voren dat er potentieel negatieve effecten kunnen zijn, maar dat het risico klein wordt geschat. Wel wordt er gesteld dat dit moet worden meegenomen in een monitoringprogramma (Smit & Dankers, 2010).

1.4 Europa

De Europese Commissie (2017) stelt dat de Europese zeeën en oceanen een enorme hoeveelheid aan hernieuwbare energie kunnen leveren. De ontwikkeling van de opkomende sector zou Europa niet alleen helpen bij het behalen van de doelstellingen die zijn gesteld met betrekking tot hernieuwbare energie en broeikasgassen, het zou ook economische groei kunnen stimuleren door innovatie en door het creëren van nieuwe, kwalitatief hoogstaande banen. Sinds 2014 houdt de Europese Commissie zich bezig met het opstellen van een actieplan voor de winning van energie uit water (European Union Law, 2017). Van 2014 t/m 2017 is er onderzoek gedaan naar de technologie, de financiën en de effecten op het milieu. Zij geven zich tot 2020 de tijd om deze uitkomsten te verwerken in sectorspecifieke richtlijnen voor de implementatie van relevante wetgeving.

Uit het rapport van de Europese Commissie (2016) blijkt dat financiering, technologische ontwikkeling en het tekort aan kennis betreft milieueffecten, het toestemmen en het geven van vergunningen voor projecten in Europa vertraagd. Wel blijkt dat de ontwikkeling van demonstratieprojecten ervoor heeft gezorgd dat er technologische vooruitgang is bereikt. De voornaamste uitdaging om verder te groeien is volgens de Europese Commissie (2016) kostenreducties bewerkstellen door middel van meer demonstratieprojecten waardoor de technologie verder ontwikkeld kan worden. Innovatieve financiële instrumenten zijn dan ook nodig om de implementatie van de projecten te ondersteunen en om particuliere beleggers aan te trekken. In 2020 kunnen de aangekondigde Europese getijdenenergie projecten, als de technologische en financiële barrières zijn overbrugd, samen een vermogen bereiken van 600 MW. Wanneer alleen de projecten worden meegerekend die overheidsondersteuning krijgen, komt dit gezamenlijk neer op een vermogen van 71 MW. Daarnaast blijkt uit dit rapport (Europese Commissie, 2016) dat er extra innovatieve instrumenten moeten worden opgericht om specifieke belemmeringen en demonstratieprojecten te ondersteunen, waardoor de Europese Commissie en haar lidstaat getijdenenergie een commerciële realiteit kan laten worden.

Hoofdstuk 2: Kosten van getijdenenergie

Dit hoofdstuk analyseert de kosten van getijdenenergie. Hierbij wordt er onderscheid gemaakt tussen investeringskosten en onderhouds- en bedrijfskosten. Daarnaast wordt de de kostprijs en de bijdrage aan de Nederlandse energievoorziening onderzocht en berekent.

2.1 Investeringskosten

De investeringskosten van getijdencentrales worden bepaald door turbinekosten en kosten voor faciliterende infrastructuur. Het bepalen van de investeringskosten voor turbines wordt bepaald door de Europese standaard (Europese Commissie, 2014). De kosten voor de faciliterende infrastructuur verschillen van project tot project. Het gaat hierbij om bassins en toevoerleidingen om de valhoogte te benutten, infrastructuur om de waterstroom te verleggen, en ecologische voorzieningen zoals vistrappen.

Entry Technology rapporteert investeringskosten variërend van 2.500 tot 9.000 €/kW (Europese Commissie, 2014). Deze grote verschillen worden deels verklaard door de verschillen in faciliterende infrastructuur. De investeringskosten zijn dus hoog. Op lange termijn hebben centrales echter wel goede eigenschappen, aangezien een groot deel kan worden terugverdiend. Zo werken nog veel installaties uit de jaren '60 en '70 zonder problemen. Een voorbeeld van zo'n installatie is La Rance, Frankrijk, geopend in 1966 (Wyre Energy Ltd., 2013). Er zijn echter verder weinig economische gegevens beschikbaar, waarschijnlijk door het feit dat de kosten zeer specifiek zijn per installatie en daardoor erg uiteenlopen (Tabel 1).

Tabel 2: Investeringskosten per getijdencentrale (Power Technology, 2017)

Getijdencentrale	Investeringskosten
Sihwa Lake Tidal Power Station, Zuid-Korea (in gebruik)	\$355.1 miljoen (254 MW)
La Rance, Frankrijk (in gebruik)	€95 miljoen (240 MW) in 1961, zou €580 miljoen zijn in 2009
Swansea Bay Tidal Lagoon, Engeland (in constructie)	850 miljoen pond = \$1.4 biljoen (240 MW)
Kornwerderzand, Nederland	€40 miljoen (5 MW)

De constructiekosten hoeven echter niet direct aan de productie van de centrale toegekend te worden. In het geval van La Rance functioneert de constructie ook als een snelweg, waardoor de afstand met 30 km voor 60.000 voertuigen per dag wordt verminderd. Op deze manier kunnen de kosten verdeeld worden. Volgens onderzoek van het NPRA (2012) kunnen de

investeringskosten van getijdencentrales tot 40% dalen wanneer de constructie gecombineerd en geïntegreerd wordt in het ontwerp en de realisatie van nieuwe infrastructuur zoals kustverdediging, waterkwaliteit en wegen. Bovendien kan een dergelijke geïntegreerde aanpak de onderhouds- en bedrijfskosten aanzienlijk verminderen, aangezien ook de onderhoudskosten gedeeld kunnen worden tussen de getijdencentrale en de desbetreffende infrastructuur.

2.2 Onderhouds- en bedrijfskosten

Doordat er nog geringe getijdenenergieprojecten in Nederland zijn, is er nog weinig ervaring met de onderhouds- en bedrijfskosten voor getijdencentrales. 2% van de investeringskosten voor kleinschalige turbines wordt aangenomen als de jaarlijkse onderhouds- en bedrijfskosten (ECN, 2009). Een studie uit Engeland heeft uitgerekend dat de onderhouds- en bedrijfskosten 29,4 pond/kW zijn (Allen *et al.*, 2011). Dit bedrag ligt net onder de 2% investeringskosten die wordt aangenomen door ECN, wanneer de investeringskosten variëren tussen 2.500 tot 9.000 €/kW (Wyre Energy Ltd., 2013).

Onderhouds- en bedrijfskosten worden beïnvloed door verschillende factoren (Li & Florig, 2006), te weten de betrouwbaarheid van de techniek, de omgevingsfactoren, de grootte van de installatie, en overige factoren zoals de transmissie coëfficiënt. De kosten worden ook beïnvloedt door de afstand tussen de turbines. Wanneer de afstand tussen de turbine klein is, beïnvloedt dit de efficiëntie van de turbine aangezien de stroom door een bepaalde turbine een invloed uitoefent op andere turbines dichtbij. Wanneer de turbines juist op grote afstand van elkaar geïnstalleerd zijn, gaan de kosten juist omhoog door de stijging van de kabels (Li & Florig, 2006).

Daarnaast beïnvloedt de levensduur van de installatie de onderhouds- en bedrijfskosten aanzienlijk, ook aangezien oudere installaties meer aandacht vereisen. De levensduur kan worden vergeleken met die van windenergie, ongeveer 30 jaar (Pearson, 2005). Alhoewel nauwkeurige schattingen van de levensduur van de installaties niet beschikbaar kunnen zijn totdat er meer ervaring is opgedaan met deze techniek, is er wel een reden tot optimisme aangezien de testen van centrales ertoe hebben geleid dat deze turbines al vijf jaar zonder problemen werken, ondanks het gebrek aan een systematisch onderhoudsprogramma (Li & Florig, 2006).

2.3 Kostprijs en bijdrage energievoorziening

Innovatie van getijdenenergie moet gericht zijn op het bereiken van een concurrerende kostprijs van energieopwekking. Windparken op zee moeten in 2023 40% goedkoper zijn, wat is afgestemd in het Energieakkoord en TKI Wind op zee (MvI&M & MvEZ, 2014). De prijs komt dan uit op 0,10 €/kWh. Deze prijs moet getijdenenergie ook zien te bereiken om uiteindelijk concurrentie te bieden. Er zijn echter op dit moment nog vele barrières aanwezig, zoals beperkte mogelijkheid tot subsidies, geen proefomgevingen en beperkte vergunningverlening. Dit heeft als gevolg dat de twijfels die er zijn omtrent milieueffecten zoals de visvriendelijkheid van getijdenturbines, niet worden weggenomen aangezien er geen testen gedaan kunnen worden.

De prijs van La Rance ligt tussen 0,09 – 0,12 €/kWh (Wyre Energy Ltd., 2013). De grootste getijdeninstallatie ter wereld, Sihwa Power Plant in Zuid-Korea, produceert elektriciteit voor 0,024 US \$/kWh (= 0,02€/kWh) (IRENA, 2014). Dit heeft een groot contrast met de kosten van elektriciteitsopwekking voor een project in Nederland: de Afsluitdijk (0,9 MW). De kosten hiervoor worden geschat op 0,30-0,33 €/kWh in 2020 en 0,27-0,30 €/kWh in 2030 (Lako *et al.*, 2010). Deze kosten gelden wanneer de sluizencomplexen van de Afsluitdijk in stand worden gehouden en waarbij de energie dan ook alleen wordt opgewerkt door de stroming van het getij (Tabel 3).

Tabel 3: Karakteristieke parameters getijdenstroming energie Afsluitdijk 2010-2030 (Lako *et al.*, 2010)

	Eenheid	2010	2020	2030
Investeringskosten	[€/kWe]	3.650 - 4.750	3.150 – 3.650	2.650 – 3.150
Onderhouds- en bedrijfskosten	[€/kWe/jaar]	100	85	75
Aantal vollasturen	[uur/jaar]	1.250	1.250	1.250
Capaciteitsfactor	[-]	0,14	0,14	0,14
Indicatieve opwekkingskosten	[€/kWh]	0,37	0,30-0,33	0,27-0,33

Er is bij de Afsluitdijk echter ook mogelijkheid tot vervanging van het sluizencomplex, waarbij het spuisluisencomplex Kornwerderzand omgebouwd wordt tot een getijdencentrale. In de openingen van de spuikokers worden pompen geplaatst die in twee richtingen kunnen functioneren. Deze techniek wordt nu toegepast, maar is nog in de demonstratiefase. Het aantal vollasturen, de hoeveelheid stroom die een turbine levert per jaar (RVO, 2017), neemt af in tijd in lijn met de veronderstelde afname van elektriciteitsproductie (Tabel 4), dit door de verwachte zeespiegelstijging waardoor minder water onder vrij verval kan worden gespuid (Lako *et al.*, 2010).

Tabel 4: Karakteristieke parameters getijdenenergie Kornwerderzand 2010-2030 (Lako et al., 2010)

	Eenheid	2010	2020	2030
Investeringskosten	[€/kWe]	8.000	7.200	6.400
Onderhouds- en bedrijfskosten	[€/kWe/jaar]	80	80	80
Aantal vollasturen	[uur/jaar]	2.400	2.340	2.280
Capaciteitsfactor	[-]	0,27	0,27	0,27
Indicatieve opwekkingskosten	[€/kWh]	0,33	0,30-0,32	0,27-0,29

Een vollastuur hangt af van de combinatie van de locatie en de soort turbine (RVO, 2017). De vollasturen verschillen per project tussen 2.000 en 3.500 uur/jaar (ECN, 2009). Dit kan ook doorberekend worden naar de opbrengst van getijdenenergie naar Nederlandse huishoudens. Het aantal vollasturen voor Kornwerderzand (Tabel 4) wordt in dit voorbeeld aangenomen als het gemiddelde aantal vollasturen van een getijdenturbine in Nederland. Het vermogen (20 of 128 MW) is afkomstig uit Tabel 1. Uit deze gegevens blijkt dat getijdenenergie elektriciteit kan leveren aan 1.300 – 88.000 huishoudens.

Tabel 5: Potentie getijdenenergie Nederland doorberekend naar aantal huishoudens

Vermogen (MW)	Vollasturen (uur/jaar)	Elektriciteit per jaar (MWh/jaar)	Elektriciteitsgebruik per huishouden NL (KWh/jaar) (RVO, 2017)	Aantal huishoudens voorzien
20 (lage inschatting)	2.340	46.800	3.400	1.376
128 (hoge inschatting)	2.340	299.520	3.400	88.094

Als laatste kan de potentie van getijdenenergie ook doorberekend worden naar de bijdrage aan de energievoorziening in Nederland. Dit is berekend aan de hand van de totale elektriciteitsproductie en de totale hernieuwbare elektriciteitsproductie in Nederland (CBS II, 2017). Uit deze gegevens (Tabel 6 & 7) blijkt dat getijdenenergie een kleine bijdrage kan leveren (0,04 – 0,26%).

Tabel 6: Bijdrage energievoorziening gebaseerd op totale elektriciteitsproductie

Vermogen (MW)	Elektriciteit per jaar (MWh/jaar)	Totale elektriciteitsproductie (MWh) 2016 (CBS II, 2017)	Percentage getijdenenergie van totale elektriciteitsproductie (%)
20 (lage inschatting)	46.800	114.909.531	0,04
128 (hoge inschatting)	299.520	114.909.531	0,26

Tabel 7: Bijdrage energievoorziening gebaseerd op hernieuwbare elektriciteitsproductie

Vermogen (MW)	Elektriciteit per jaar (MWh/jaar)	Totale hernieuwbare elektriciteitsproductie (MWh) 2016 (CBS II, 2017)	Percentage getijdenenergie van hernieuwbare elektriciteitsproductie (%)
20 (lage inschatting)	46.800	14.885.000	0,31
128 (hoge inschatting)	299.520	14.885.000	1,54

Hoofdstuk 3: Milieueffecten omtrent getijdenenergie

Dit hoofdstuk analyseert de milieueffecten die veroorzaakt kunnen worden door het toepassen van getijdenenergie. Allereerst wordt de gevonden data besproken. Vervolgens worden mondiale monitoringprogramma's aangehaald, waarna als laatste een *casestudy* volgt van een getijdenproject in Nederland: Kornwerderzand.

3.1 Data milieueffecten

Data van milieueffecten veroorzaakt door het toepassen van getijdenenergie is beperkt aangezien onderzoek hiernaar duur is en omdat de techniek nog in een vroeg stadium van ontwikkeling is (Uihlein & Magagna, 2016). Daarnaast zijn bestaande gegevens zeer verspreid tussen landen en onderzoekers. Meer onderzoek en ontwikkeling, samen met een groei in de informatie-uitwisseling tussen verschillende projectontwerpers en onderzoekers, is noodzakelijk om de milieueffecten te begrijpen en te verminderen (Europese Commissie, 2014). De activiteiten die betrokken zijn bij de productie, de exploitatie en het onderhoud van getijdencentrales hebben verschillende effecten op het milieu. Het is noodzakelijk dat de regering en de samenleving kennis hebben over deze effecten voordat de implementatie plaatsvindt. Hiervoor dienen EIA's (Environmental Impact Assessments) uitgevoerd te worden.

Over het algemeen hangen de milieueffecten sterk af van de omvang van de installatie en de geselecteerde locatie (Margheritine *et al.*, 2012). De belangrijkste verwachte milieueffecten van getijdenenergie omvatten een impact op het bentische milieu als gevolg van veranderingen in stromingspatronen en sedimentdynamiek (Boehlert & Gill, 2010), de respons van soorten op habitatverandering, en de verstrikking van zeedieren, schildpadden, grotere vissen en zeevogels (Frid *et al.*, 2012).

Potentiele andere effecten zijn de sterfte van vissen die door de turbines heen zwemmen en daardoor door het turbineblad geraakt worden, en het botsingsrisico van mariene zoogdieren met de installatie zelf. Frid *et al.* (2012) concluderen echter dat er weinig wetenschappelijke literatuur is waaruit blijkt dat getijdenturbines een verhoogt sterftecijfer hebben voor pelagische zoogdieren. Fraenkel (2006) bevestigt dit. Hij stelt dat de snelheid van de onderwaterturbinerotor laag is in vergelijking met een boot- of schippropeller. Ook Lewis *et al.* (2011) concluderen dat de huidige getijdentechnologieën roterende bladen hebben die het mariene milieu kunnen schaden, maar dat er nog geen sterftegevallen bewezen

zijn. Wel blijkt uit onderzoek (Copping *et al.*, 2014) dat de installatie de mariene dieren en vogels kan aantrekken. Aan de andere kant kunnen de dieren de installatie ook vermijden, wat resulteert dat de toegang tot habitats, die dienen als voedingsplaats of rustplaats, verhinderd wordt. Gedragsveranderingen zoals de hierboven omschreven aantrekkingskracht of juist het vermijden van de installatie zijn in het bijzonder van belang voor beschermde soorten, zoals de bedreigde soorten omschreven in de EU-habitatrichtlijn (Copping *et al.*, 2014). Een ander kritisch probleem is de ruisonderdrukking in turbulente wateren (Uihlein & Magagna, 2016). Zeedieren kunnen hierdoor getroffen worden. Fraenkel (2006) stelt echter dat het onderwatergeluid juist laag is door de lage snelheid van de werking van de turbines.

Potentiele positieve milieueffecten kunnen daarentegen ook voorkomen. Zo kunnen centrales dienen als roosting plaatsen waar vogels kunnen rusten en kan er juist ook habitatverbetering plaatsvinden voor zeevogels. Daarnaast kan de lokale biodiversiteit verbeteren. Ook kunnen getijdeninstallaties fungeren als kustmatige riffen en visaggregatiemogelijkheden, wat in het verleden al gebruikt is om beschadigde ecosystemen te herstellen (Grecia *et al.*, 2010).

Uit deze gegevens blijkt dat de milieueffecten nog niet volledig vastgesteld zijn, dit door beperkte observaties. Toekomstig onderzoek moet dan ook gericht zijn op gelokaliseerde milieueffecten. Daarnaast moeten ook andere aspecten in acht worden genomen bij het analyseren van de milieueffecten, zoals de visserij en de scheepsvaart (Uihlein & Magagna, 2016).

3.2 Monitoringprogramma's mondiaal

Deze paragraaf behandelt voorbeelden van monitoringprogramma's van getijdencentrales. De monitoring van het 'SeaGen getijproject' van 'Marine Current Turbine' in Noord-Ierland (Keenan, 2011) levert een inspectie op het gebied van het mariene milieu. Hierbij is de aanwezigheid van de mariene zoogdieren gecorreleerd met de rotatiesnelheid en de akoestische output van de turbine, zowel wanneer deze werkzaam was en wanneer deze uit stond. Uit de monitoring kwam dat de turbines geen grote impact hebben op mariene zeezoogdieren, vogels en de habitat. Wel moet hierbij gesteld worden dat de turbines uitgezet werden wanneer een zeehond naderde, waardoor de directe interactie van de dieren met de roterende turbine niet onderzocht is.

De Universiteit van Maine monitorde de getijnturbines in Cobscook Bay, Maine (Viehman, 2012). Zij onderzochten het visgedrag door middel van twee akoestische camera's.

Deze camera's toonden aan dat de vissen regelmatig de turbines in gingen ook wanneer deze aanstonden. De studie was echter niet in staat om te ontdekken hoe de vissen door de turbines heen zwommen. Er zijn tijdens dit onderzoek geen dode vissen ontdekt. Ook op de Mississippi rivier werd de visdoorgang onderzocht (Normandeau Associates, 2009). Hierbij hadden zoetwatervissen van twee verschillende maten tags gekregen waardoor de onderzoekers de juiste vissen uit het water konden halen. De vissen werden onmiddellijk na het vangen beoordeeld voor mortaliteit en letsel, en na 48 uur opnieuw. Hieruit bleek dat de overlevingskans voor de kleine (115-235 mm) en de grote vissen (388-710 mm) meer dan 99% was na 48 uur.

Onderzoekers in de buurt van Roosevelt Island in de East River van New York onderzochten de potentiële effecten van de getijnturbines op trekvogels en vissen. Uit dit onderzoek bleek dat de vogels en vissen het gebied waar de turbines zich bevinden, vermeden. De vissen volgden de natuurlijke getijstrooming en niet de stroming die werd veroorzaakt door de turbines. Daarnaast werd geconcludeerd dat de vissen de omgeving direct verlieten wanneer de snelheid van het water, veroorzaakt door de turbine, groter werd dan 0,8 m/s (onderzochte snelheid tussen 0,7 – 1,0 m/s). Conclusie van dit onderzoek is dan ook dat de vissen de turbines kunnen detecteren en dat zij botsingen met de bladen kunnen vermijden. (Copping *et al.*, 2014).

3.3 Casestudy Kornwerderzand

Zoals vermeld is er nog weinig literatuur beschikbaar over de effecten van getijdencentrales en –turbines op het milieu in Nederland. Wel is er in 2015 onderzoek gedaan naar de effecten van getijnturbines bij Kornwerderzand, een spuisluiscomplex tussen de Waddenzee en het IJsselmeer (Griffioen *et al.*, 2015). Dit onderzoek heeft de effecten van getijdenturbines op habitat, vis, vogels en zeezoogdieren geanalyseerd. Hierbij moet wel vermeld worden dat er al spuisluizen aanwezig zijn, welke een groot belang hebben bij het foerageren en de doortrek van de habitat, wat betekent dat de dieren hier al aan gewend zijn. In de nieuwe situatie worden de getijnturbines in de spuisluizen geïnstalleerd. Deze zullen energie winnen uit de stroming die ontstaat bij het spuien van overtollig water vanuit het IJsselmeer naar de Waddenzee.

Uit het onderzoek van Griffioen *et al.* (2015) blijkt dat de turbines voor vissen een groter risico vormen dan voor vogels en zeezoogdieren, aangezien vissen er vaker doorheen zwemmen. Alhoewel een deel van de risico's voor de vissen in de huidige situatie zonder

getijnturbines gelijk worden geschat ten opzichte van de toekomstige situatie, zijn er wel extra risico's. Er is mogelijk aanvullende turbulentie waardoor sommige vissen meer moeite hebben om gebruik te maken van het ventilatievenster. Ook is er turbulentie achter de turbine, wat kan leiden tot enerzijds een negatieve impact wanneer de turbine aantrekkend werkt, en anderzijds een positieve impact wanneer de vis juist wordt verstoord en weg wordt gehouden van de turbines. Een ander risico is het feit dat er obstakels worden geplaatst in de spuisluisen, wat botsingsrisico met zich meebrengt. Dit kan directe of vertraagde sterfte als gevolg hebben.

Het risico van getijnturbines op vogels is nauwelijks bekend. Er zijn geen aanwijzingen dat vogels tijdens een duik worden meegevoerd door de spuistroom van de spuikokers.

Zeezoogdieren komen nauwelijks voor in de spuikom bij Kornwerderzand. De aantallen van waargenomen zeehonden en bruinvissen in het IJsselmeer zijn zeer laag. Bruinvissen hebben de potentie om door de spuikoker te zwemmen, maar worden nauwelijks waargenomen in het IJsselmeer. Zeehonden zwemmen naar alle waarschijnlijkheid via de scheepssluisen het IJsselmeer op. Er is geen data bekend dat zeehonden via de spuikokers zwemmen. De risico's van getijnturbines op zeezoogdieren worden dan ook laag ingeschat. Wel moet hierbij vermeld worden dat dit gebaseerd is op het feit dat er nauwelijks gegevens beschikbaar zijn van het gedrag van de zeezoogdieren rondom spuikokers.

Discussie

De technische potentie van getijdenenergie in Nederland is aanwezig. Om de technologie echter van demonstratieprojecten naar volledige running te implementeren, zijn er nog een aantal obstakels die overwonnen moeten worden.

Allereerst de wet- en regelgeving. Nieuwe technologieën of aanvragen voor nieuwe opstellingen kennen vaak een lange doorlooptijd, er is weinig regelgeving omtrent getijdenenergie openbaar vergeleken met andere hernieuwbare energiebronnen, en veel actoren hebben zeggenschap over vergunningverlening en subsidies. Dit heeft als gevolg dat nieuwe projecten langzaam van de grond komen, aangezien er veel tijd overheen gaat. Om getijdenenergie te implementeren in Nederland, zal er een duidelijk en specifiek beleid moeten komen, met bijbehorende financiering en een realistische tijdlijn. Het beleid moet zich hierbij richten op de vroege ontwikkeling en implementatie van getijdentechnologieën (Ocean Energy Systems, 2017). Nationale en internationale samenwerking is hierbij van belang.

Ten tweede de kosten. De kosten verschillen per project en zijn daardoor lastig te bepalen. De investeringskosten zijn hoog, echter doordat centrales lang meegaan is dit over lange tijd terugverdiend. Ook de kostprijs is hoog, welke omlaag dient te gaan om concurrentie te bieden tegen andere energiebronnen. Dit ziet men terug bij de twee grootste getijdencentrales ter wereld, La Rance, Frankrijk, en Sihwa Lake Tidal Power Station, Zuid-Korea, waar de kostprijs wel concurrerend is met andere energiebronnen. De lage kostprijs kan komen doordat de schaal van deze installaties erg groot is, wat betekent dat zij een groot vermogen hebben, veel elektriciteit kunnen opwekken en dus concurrent kunnen zijn met andere energiebronnen. Daarnaast functioneert La Rance ook als snelweg, wat ook de kosten onderdrukt waardoor de kostprijs lager kan zijn. De kosten van getijdenenergie in Nederland kunnen echter niet omlaag als Nederland er niet meer in investeert.

Ten derde de milieueffecten. Wereldwijd zijn er al vele monitoringprogramma's uitgevoerd bij getijdencentrales in werking. Hieruit blijkt dat de risico's voor het milieu nihil zijn. In Nederland is er echter nog weinig onderzoek gedaan naar de milieueffecten, voornamelijk omdat hier geen geld in wordt gestoken. Om de milieueffecten voor Nederland te bepalen, dienen deze wel uitgevoerd te worden. Ook LCA's zijn hierbij van belang. Deze zijn tot op heden nog niet uitgevoerd, waardoor het niet duidelijk is of de geproduceerde elektriciteit bijvoorbeeld een lage CO₂ factor heeft, vergeleken met andere energiebronnen.

Er kan gesteld worden dat de getijdenenergiemarkt in Nederland nog niet functioneert. De kostprijs in Nederland is nu dermate hoog, dat de techniek zich alleen kan ontwikkelen met steun van de overheid. Wanneer de kostprijs niet omlaag gaat, kan de techniek nooit concurreren met andere energiebronnen. Daarnaast zijn er geen doelstellingen wat betreft getijdenenergie in Nederland aanwezig. Zolang er geen doelstelling duidelijk wordt gemaakt door de overheid, wordt de markt ook niet gestimuleerd. Een ander belangrijk punt wat misschien de traagheid of de nalatigheid van de overheid verklaart, is het feit dat de potentie van getijdenenergie (Figuur 1; Tabel 1) vrij gering is gezien de totale elektrische capaciteit in Nederland (CBS II, 2017). Het kan zijn dat de overheid de potentie te weinig vindt om hierin te investeren, of ze wachten met volledige implementatie totdat het duidelijk is wat de potentie van getijdenenergie in de Noordzee kan zijn.

Dit onderzoek heeft in kaart gebracht wat de obstakels van getijdenenergie in Nederland zijn, en waarom de techniek nog niet volledig geïmplementeerd is. Meer onderzoek is noodzakelijk om te beoordelen wat voor beleid werkzaam kan zijn in Nederland. Daarnaast is er meer onderzoek nodig naar de milieueffecten van getijdencentrales in Nederland, ook al zijn er uit mondiale onderzoeken weinig negatieve effecten voortgekomen.

Conclusie

Dit onderzoek heeft getracht een antwoord te geven op de onderzoeksvraag: In hoeverre is getijdenenergie haalbaar in Nederland, naast de aanwezige technische potentie? Hierbij zijn er drie aspecten bestudeerd: de wet- en regelgeving, de kosten en de milieueffecten. Uit de analyse van deze drie aspecten komt naar voren dat er nog veel barrières overwonnen dienen te worden voordat volledige implementatie van getijdentechnologieën mogelijk is. De wet- en regelgeving is slecht voorhanden wat resulteert in het feit dat vergunning- en subsidieverlenging een lange doorlooptijd kent. Dit wordt ook nog bemoeilijkt doordat verschillende actoren een zeggenschap hierover te hebben. Daarnaast zijn de investeringskosten van getijdencentrales hoog, echter kan dit wel terugverdiend worden op de lange termijn. Ook dient de kostprijs te verlagen om concurrerend te worden met andere energiebronnen. Ook is de bijdrage aan de energievoorziening gering. Als laatste zijn er in Nederland nog weinig onderzoeken gedaan naar de eventuele milieueffecten van getijdenenergie. Mondiaal zijn er wel meerdere monitoringprogramma's gedaan waaruit blijkt dat de milieueffecten gering zijn.

Getijdenenergie in Nederland is technisch haalbaar. Daarnaast is het ook haalbaar op de aspecten bestudeerd in deze scriptie. Hiervoor dienen echter nog wel grote stappen genomen te worden, vanuit de overheid en vanuit de wetenschap. Wanneer deze stappen zijn genomen, heeft getijdenenergie de potentie om Nederland te helpen bij het behalen van de doelstelling van 16% hernieuwbare energie in 2023.

Literatuurlijst

- Allen, G., Gilmartin, M., McGregor, P. & Swales, K. (2011). Levelised costs of Wave and Tidal energy in the UK: Cost competitiveness and the importances of ‘banded’ Renewables Obligation Certificates. *Energy Policy*, 39(1), 23-39.
- Alphen, K. van, Kunz, H.S. & Hekkert, M.P. (2008). Policy measures to promote the widespread utilization of renewable energy technologies for electricity generation in the Maldives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12, 1959-1973.
- Benelghali, S., Benbouzid, M. & Charpentier, J.F. (2007). Marine Tidal Current Electricity Power Generation Technology: State of the Art and Current Status. *IEEE IEMDC*, 2, 1407-1412.
- Boehlert, G. & Gill, A. (2010). Environmental and ecological effects of ocean renewable energy development – a current synthesis. *Oceanography*, 23, 68-81.
- Carley, S. (2009). State renewable energy electricity policies: an empirical evaluation of effectiveness. *Energy Policy*, 37(8), 3071-3081.
- Cave, P.R. & Evans, E.M. (1984). Tidal stream energy systems for isolated communities, alternative energy systems-electrical integration and utilisation. Pergamon Press, Oxford.
- CBS (2015). Protocol Monitoring Hernieuwbare Energie. Centraal Bureau voor de Statistiek. Herziening 2015. Geraadpleegd op 11 mei 2017, van <http://www.rvo.nl/sites/default/files/Protocol%20Monitoring%20HE%20Interactief%20V3.pdf>.
- CBS I (2017). Hernieuwbare elektriciteit; productie en vermogen. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van: <http://statline.cbs.nl/statweb/publication/?dm=slnl&pa=82610ned>.
- CBS II (2017). Elektriciteit en warmtel productie en inzet naar energiedrager. Geraadpleegd

op 26 juni 2017, van:

<http://statline.cbs.nl/StatWeb/publication/?DM=SLNL&PA=80030NED>.

Copping, A., Battey, H., Brown-Saracino, J., Massaua, M. & Smith, C. (2014). An international assessment of the environmental effects of marine energy development. *Ocean & Coastal Management*, 99, 3-13.

Dincer, I. (2009). Renewable energy and sustainable development: a crucial review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 4(2), 157-175.

ECN (2009). Kosten van kleinschalige waterkracht en getijdenenergie in Nederland. Energy research Centre of the Netherlands. Geraadpleegd op 13 mei 2017, van <http://docplayer.nl/13855784-Ecn-beleidsstudies-kosten-van-kleinschalige-waterkracht-en-getijdenenergie-in-nederland-1-inleiding-2-afbakening.html>.

Europese Commissie (2014). Blue Energy; Action needed to deliver on the potential of ocean energy in European seas and oceans by 2020 and beyond. Geraadpleegd op 20 mei 2017, van: <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014DC0008&from=EN>.

Europese Commissie (2016). JRC Ocean Energy Status Report 2016 Edition. Technology, market and economic aspects of ocean energy in Europe. European Commission. Geraadpleegd op 5 juni 2017, van: <https://publications.europa.eu/en/publication-detail/-/publication/e22b8458-f412-11e6-8a35-01aa75ed71a1/language-en/format-PDF#>.

Europese Commissie (2017). Ocean energy. Geraadpleegd op 11 mei 2017, van https://ec.europa.eu/maritimeaffairs/policy/ocean_energy_en.

European Union Law (2017). Blue Energy Action needed to deliver on the potential of ocean energy in European seas and oceans by 2020 and beyond. Geraadpleegd op 11 mei 2017, van <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52014DC0008&from=EN>.

- Fraenkel, P.L. (2006). Tidal Current Energy Technologies. *Ibis*, 148(1), 145-151.
- Frid, C., Andonegi, E., Depestele, J., Rihan, J.D. & Rogers, S.I. (2012). The environmental interactions of tidal and wave energy generation devices. *Environmental Impact Assessment Reviews*, 32, 133-139.
- Grecia, W.J., Inger, R., Attrill, M.J., Bearhop, S., Godley, B.J. & Witt, M.J. (2010). Potential impact of wave-powered marine renewable energy installations on marine birds. *Ibis*, 1859(152), 683-697.
- Greenage (2017). Rance Tidal Power Station, France. Greenage. Geraadpleegd op 13 mei 2017, van <https://www.thegreenage.co.uk/cos/rance-tidal-power/>.
- Harvey, L.D. (2000). Global Warming: The hard science. Prentice Hall.
- Keenan, G., Sparling, C., Williams, H. & Fortune, F. (2011). SeaGen Environmental Monitoring Programme Final Report. Haskoning U.K. Ltd, Edinburgh, U.K.
- Inger, R., Attril, M.J., Bearhop, S., Broderick, A.C., James Grecian, W., Hodgson, D.J., Mills, C., Sheehan, E., Witt, M.J. & Godley, B.J. (2009). Marine renewable energy: potential benefits to biodiversity? An urgent call for research. *Applied Ecology*, 46(6), 1145-1153.
- IRENA (2014). Tidal Energy; Technology Brief. International Renewable Energy Agency. Geraadpleegd op 26 juni 2017, van: http://www.irena.org/DocumentDownloads/Publications/Tidal_Energy_V4_WEB.pdf.
- Lako, P., Luxembourg, S.L. & Beurskens, L.W.M. (2010). Karakteristieken van duurzame energie in relatie tot de Afsluitdijk. Kostendata en andere parameters voor de evaluatie van duurzame energieopties in verband met integrale verbetering van de afsluitdijk. Energieonderzoek Centrum Nederland.
- Lewis, A., Estefen, S., Huckerby, J., Musial, W., Pontes, T. & Torres-Martinez, J. (2011).

- IPCC Special report on renewable energy sources and climate change mitigation. Cambridge University Press, Cambridge (New York), 497-533.
- Li, Y. & Florig, K. (2006). Modeling the operation and maintenance costs of a large scale tidal current turbine farm. *OCEANS*, 1-6.
- Margheritine, L., Hansen, A.M. & Frigaard, P. (2012). A method for EIA scoping of wave energy converters – based on classification of the used technology. *Environmental Impact Assessment Reviews*, 32, 33-44.
- Milieu Centraal (2017). Waterkracht. Geraadpleegd op 26 juni 2017, van: <https://www.milieucentraal.nl/klimaat-en-aarde/energiebronnen/waterkracht/>.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken (2014). Noordzee 2050 Gebiedsagenda. Rijksoverheid.
- Ministerie van Infrastructuur en Milieu & Ministerie van Economische Zaken (2015). Beleidsnota Noordzee 2016-2021. Bijlage 2 bij het Nationaal Waterplan 2016-2021. Rijksoverheid.
- Noordzeeloket (2017). Windenergie op zee. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van: <https://www.noordzeeloket.nl/functies-en-gebruik/windenergie/>.
- Normandeau Associates (2009). An Estimation of Survival and Injury of Fish Passed through the Hydro Green Energy Hydrokinetic System, and a Characterization of Fish Entrainment Potential at the Mississippi Lock and Dam No. 2 Hydroelectric Projects. Normandeau Associates, Inc., Westmoreland, New Hampshire.
- NPRA (2012). Technology Survey for Renewable Energy Integrated to Bridge Constructions: wave and tidal energy, *Project nr 603360*, D. Vennetti, SP Institute of Sweden, Norwegian Projection Road Administration.
- Ocean Energy Systems (2017). Ocean Energy Policies: Lessons Learnt; Ocean Energy Systems Information Exchange Workshop. Swedish Energy Agency.

Overheid I (2017). Wet ruimtelijke ordening. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van:

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0020449/2015-07-01>.

Overheid II (2017). Elektriciteitswet 1998. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van:

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0009755/2015-07-01>.

Overheid III (2017). Wet Natuurbescherming. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van:

<http://wetten.overheid.nl/BWBR0037552/2017-03-01>.

Pearson, L.B. (2005). Clean Current Tidal Power Demonstration Project At Race Rocks, BC.

Geraadpleegd op 5 juni 2017, van:

<http://www.racerocks.com/racerock/energy/tidalenergy/pressrelease.pdf>.

Power Technology (2017). Tidal giants – the world’s five biggest tidal power plants.

Geraadpleegd op 8 juni 2017, van: [http://www.power-](http://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants---the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/)

[technology.com/features/featuretidal-giants---the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/](http://www.power-technology.com/features/featuretidal-giants---the-worlds-five-biggest-tidal-power-plants-4211218/).

Rijksoverheid (2017). Maximumtermijn regeling energie innovaties verlengd tot 2030.

Geraadpleegd op 25 mei 2017, van:

<https://www.rijksoverheid.nl/actueel/nieuws/2017/03/02/maximum-termijn-regeling-energie-innovaties-verlengd-tot-2030>.

Rourke, F.O., Boyle, F. & Reynolds, A. (2010). Tidal energy update 2009. *Applied Energy*, 87(2), 398-409.

RVO (2015). Rapportage hernieuwbare energie. Deel 2: Blik op innovatie. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 23 mei 2017, van:

<http://www.rvo.nl/sites/default/files/2015/01/Rapportage%20hernieuwbare%20energie%202013%20-%20deel%202%20-%20blik%20op%20innovatie%20%5BWEB%5D.pdf>.

RVO (2017). Opbrengst. Rijksdienst voor Ondernemend Nederland. Geraadpleegd op 13 mei

- 2017, van <http://www.rvo.nl/onderwerpen/duurzaam-ondernemen/duurzame-energie-opwekken/windenergie-op-land/techniek/opbrengst>.
- Shell (2008). Shell energy scenarios to 2050. The Hague. Geraadpleegd op 10 mei 2017, van <http://www.shell.com/content/dam/shell/static/public/downloads/brochures/corporate-pkg/scenarios/shell-energy-scenarios2050.pdf>.
- Scheijgrond, P. (2015). Potentials of Energy from Water. Geraadpleegd op 11 mei 2017, van <http://www.energisingdeltas.com/wp-content/uploads/Potentials-of-Energy-from-Water.pdf>.
- Smit, C.J. & Dankers, N.M.J.A. (2010). Passende Beoordeling van een getijdencentrale in de Oosterscheldekering. IMARES. Geraadpleegd op 4 juni 2017, van: <http://edepot.wur.nl/143158>.
- Tidal Energy (2017). Tidal Energy UK. Meeting Europe's growing Energy requirements Sustainably. Geraadpleegd op 13 mei 2017, van http://www.tidalenergy.eu/tidal_energy_uk.html.
- TKI (2015). Dutch Wave & Tidal energy sector: status, challenges and roadmap. TKI Wind op Zee. Geraadpleegd op 11 mei 2017, van <http://www.tki-windopzee.nl/files/2015-10/20150911-rap-dutch.wave.and.tidal.energy.sector-met-f.pdf>.
- Uihlein, A. & Magagna, D. (2016). Wave and tidal current energy – A review of the current state of research beyond technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 58, 1070-1081.
- Viehman, H.A. (2012). Fish in a Tidally Dynamic Region in Maine: Hydroacoustic Assessments in Relation to Tidal Power Development. The University of Maine, Orono, Maine. Master's thesis.
- Vince, G. (2010). A craving for hydropower. *Science*, 329(5990), 384-384.
- WEC (2013). World Energy Resources 2013 Survey. London. Geraadpleegd op 10 mei 2017,

van https://www.worldenergy.org/wp-content/uploads/2013/09/Complete_WER_2013_Survey.pdf.

WUR (2017). Procedure Natuurbeschermingswet, Vergunningverlening m.b.t. Natura 2000-gebieden. Geraadpleegd op 25 mei 2017, van: <http://edepot.wur.nl/117911>.

Wyre Energy Ltd. (2013). Comparisons of tidal power stations around the World. Wyre Energy Ltd.

Bijlage

Bijlage 1: Valhoogte bereken aan de hand van de natuurlijke stroomsnelheid

Natuurlijke stroomsnelheid Nederland: 1-2 m/s

$$mgh = \frac{1}{2}mv^2$$

$$gh = \frac{1}{2}v^2 \text{ (massa wegstrepen)}$$

$$9,81h = \frac{1}{2}1^2 \rightarrow h = 0,0509 \text{ m} = 5 \text{ cm}$$

$$9,81h = \frac{1}{2}2^2 \rightarrow h = 0,2038 \text{ m} = 20 \text{ cm}$$

Oftewel, natuurlijke stroomsnelheid Nederland (1-2 m/s) is equivalent aan een valhoogte van 5 tot 20 cm.